

В. С. Мушников, В. И. Лихтенштейн, В. В. Вьюхин, Е. М. Меньшикова,
М. Д. КомаровЭ
Уральский федеральный университет, Екатеринбург, Россия

ВЛИЯНИЕ ТЕПЛОВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ НА УСЛОВИЯ ТРУДА РАБОТАЮЩИХ

Thermal radiation from process equipment to personnel is one of the harmful production factors that affects the work process. Thermal irradiation often leads to injury, especially in the summer hot months. A technique for accounting for thermal irradiation in determining working conditions by factors of the production environment is proposed.

Под тепловым излучением понимается перенос теплоты в виде электромагнитных волн с двойным взаимным превращением тепловой энергии в лучистую и обратно. Носителем теплового излучения являются электромагнитные волны, энергия которых зависит от температуры тела, его атомной и молекулярной структуры, а также от состояния поверхности тела. Свойствами теплового излучения обладает электромагнитное излучение только в диапазоне длин волн $\lambda=0,4\ldots 800$ мкм [1, 2]. Лучистая энергия распространяется в виде потока частиц, называемых квантами или фотонами.

Характерная особенность теплового излучения состоит в том, что в нем могут участвовать тела, непосредственно не соприкасающиеся. Больше того, если из пространства, разделяющего два тела, откачать газ, то перенос тепла между ними будет продолжаться. Этот обмен теплом осуществляется посредством излучения. Таким образом, лучистая энергия может распространяться в безвоздушном пространстве. Благодаря этому свойству лучистой энергии Земля получает тепло от Солнца.

Влияние теплового излучения от технологического оборудования на персонал называют тепловым облучением. Оно является одним из вредных производственных факторов, влияющих на трудовой процесс. Многие технологические процессы на промышленных предприятиях сопровождаются значительными выделениями тепла. Источниками тепловыделений могут быть: нагретые поверхности стен печей, их открытые проемы, желоба, выпускные лотки, прокатываемый металл, нагретые обрабатываемые детали и заготовки,

различные виды сварки и плазменной обработки, котлы, и др. Нагретые поверхности излучают в пространство потоки лучистой энергии. При температуре до 500 °С с нагретой поверхности излучаются тепловые (инфракрасные) лучи с длиной волны 740...0,76 мкм, а при более высокой температуре наряду с возрастанием инфракрасного излучения появляются видимые световые и ультрафиолетовые лучи. У большинства производственных источников тепла максимум излучаемой энергии (более 60 % выделяемого тепла) приходится на длинноволновую часть спектра (инфракрасные лучи длиной волны более 0,78 мкм). Интенсивность теплового излучения и температура поверхностей технологического оборудования являются составной частью нормируемых параметров микроклимата, значения которых приведены в ГОСТ 12.1.005-88 [2]. Требования установлены для рабочих зон – пространств высотой до 2 м над уровнем пола или площадки, на которых находятся места постоянного или временного пребывания работающих. Постоянным считается рабочее место, на котором человек находится более 50 % рабочего времени (или более 2 ч непрерывно).

Факторы, влияющие на микроклимат можно разделить на две группы: нерегулируемые (комплекс климатообразующих факторов данной местности) и регулируемые (особенности и качество строительства зданий и сооружений, интенсивность теплового излучения от нагревательных приборов, кратность воздухообмена, количество людей в помещении и др.). Для поддержания параметров воздушной среды рабочих зон в пределах гигиенических норм решающее значение принадлежит факторам второй группы.

В зависимости от значений параметров микроклимат может быть комфортным (удовлетворяющим требованиям) и дискомфортным. Дискомфортный микроклимат может быть нагревающим (гипертермия) и охлаждающим (гипотермия) [3].

Между человеком и окружающей его средой постоянно происходит теплообмен. Факторы окружающей среды воздействуют на организм комплексно и в зависимости от их конкретных значений вегетативные центры

(полосатое тело, серый бугор промежуточного мозга) и ретикулярная формация, взаимодействуя с корой головного мозга и посылая по симпатическим волокнам импульсы к мышцам, обеспечивают оптимальное соотношение процессов теплообразования и теплопередачи.

В состоянии комфорта теплоотдача тела человека происходит на 45 % излучением, 30 % конвекцией и 25 % испарением. При повышении температуры тела растет доля испарения, при понижении температуры возрастают доли конвекции и излучения. По избыточной явной теплоте $Q_{\text{ят}}$ помещения классифицируются как «горячие цехи» при $Q_{\text{ят}} > 23,2 \text{ Вт/м}^3$ и «холодные цехи» при $Q_{\text{ят}} \leq 23,2 \text{ Вт/м}^3$. В производственной обстановке рабочие, находясь вблизи расплавленного или нагретого металла, пламени, горячих поверхностей и т. п., подвергаются действию теплоты, излучаемой этими источниками. Облучение организма малыми дозами лучистой теплоты полезно, но значительная интенсивность теплового излучения и высокая температура могут оказать неблагоприятное действие на организм человека.

Тепловой эффект воздействия облучения зависит от спектра излучения, интенсивности потока облучения, величины излучающей поверхности, размера облученного участка организма, длительности облучения, угла падения лучей, от одежды, прикрывающей человека и т.п. Передача тепла излучением может происходить как в видимой ($\lambda=0,63\dots0,76 \text{ мкм}$), так и в инфракрасной ($\lambda=0,77\dots420 \text{ мкм}$) части спектра.

Наибольшей проникающей способностью обладают красные лучи видимого спектра и короткие инфракрасные лучи с длиной волны до 1,5 мкм, глубоко проникающие в ткани и мало поглощаемые поверхностью кожи, вызывая при этом быструю утомляемость, понижение внимания, усиленное потоотделение, а при длительном облучении – тепловой удар. Длинноволновые лучи ($\lambda > 1,5 \text{ мкм}$) глубоко в ткани не проникают и поглощаются в основном в эпидермисе. Такие лучи могут вызвать ожог кожи и глаз. Наиболее частым и тяжелым поражением глаз является катаракта глаза.

Выполнение трудовых операций в условиях теплового облучения и повышенных температур повышает утомляемость рабочих (работоспособность падает к концу смены в среднем примерно наполовину), что нередко приводит к травматизму, особенно в летние жаркие месяцы. При длительном пребывании человека в зоне теплового лучистого потока происходит резкое нарушение теплового баланса в его организме. Нарушается работа терморегуляторного аппарата, усиливается деятельность сердечно-сосудистой и дыхательной систем, увеличивается потоотделение, происходит потеря нужных организму солей. Потеря организмом солей лишает кровь способности удерживать воду, что вызывает сгущение крови и ухудшает питание тканей и органов. Нарушение водно-солевого баланса вызывает так называемую судорожную болезнь, характеризующуюся появлением резких судорог, преимущественно в конечностях. Влияние теплового облучения может привести к системным тепловым нарушениям (тепловой обморок, судороги мышц, тепловое истощение, тепловой удар и (или) к тепловым поверхностным расстройствам).

Параметрами производственной среды, которые влияют на состояние здоровья человека являются следующие факторы: физические, химические, биологические. К физическим факторам относятся: микроклимат (температура, влажность, подвижность воздуха); электромагнитные поля различного волнового диапазона (ультрафиолетовое, видимое, инфракрасное – тепловое, лазерное и т. д. По факторам производственной среды условия труда подразделяются на четыре класса [4].

Для определения условий труда при превышении допустимых параметров согласно СанПиН 2.2.2.548-96 используется индекс тепловой нагрузки (ТНС – индекс). ТНС – индекс является эмпирическим показателем, характеризующим сочетанное действие на организм человека параметров микроклимата (температуры, относительной влажности, скорости движения воздуха, интенсивности теплового излучения).

ТНС – индекс рассчитывается по формуле:

$$\text{ТНС} = 0,7 \times t_{\text{вл}} + 0,3 \times t_{\text{ш}}, \quad (1)$$

где $t_{\text{вл}}$ – температура смоченного термометра аспирационного психрометра;

$t_{\text{ш}}$ – температура внутри зачерненного шара.

ТНС – индекс рекомендуется использовать при скорости движения воздуха $v < 0,6$ м/с и интенсивности теплового излучения $E < 1200$ Вт/м².

Классы условий труда по показателям ТНС – индекса (°С) для рабочих помещений с нагревающим микроклиматом приведены в [4].

Экспозиционная доза ДЭО определяется по формуле:

$$\text{ДЭО} = E_{\text{ТО}} \times S \times \tau, \quad (2)$$

где $E_{\text{ТО}}$ – интенсивность теплового облучения, Вт/м²

S – облучаемая поверхность тела, м²

τ – продолжительность облучения за рабочую смену, ч.

Окончательный класс условий труда определяется по наиболее выраженному показателю: ТНС – индексу или по тепловому облучению [4].

Данная методика расчета влияния теплового излучения на условия труда работающих внедрена в учебный процесс в нашем университете как практическое занятие для студентов всех форм обучения всех специальностей по курсу «Безопасность жизнедеятельности». Разработано 25 вариантов практических заданий, решение которых позволяет успешно освоить предлагаемую методику определения условий труда по факторам производственной среды.

ЛИТЕРАТУРА

1. Тягунов, Г. В. Безопасность жизнедеятельности: учебник / Г. В. Тягунов, А. А. Волкова, В. Г. Шишкунов. – Москва, Кнорус, – 2016. – С. 274.
2. ГОСТ 12.1.005-88 «Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны».
3. СанПиН 2.2.4.548-96 «Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений».

4. Р 2.2.2006-05 «Руководство по гигиенической оценке факторов рабочей среды и трудового процесса. Критерии и классификации условий труда».